

Simulador e Analisador de Sinais de Plataformas de Coletas de Dados do Programa Espacial Brasileiro

João Carlos P. Rae; Waldecir J. Perrella e Marco A. Chamon.

Resumo—O Programa Simulador e Analisador de Sinais de Plataformas de Coleta de Dados do Programa Espacial Brasileiro foi desenvolvido para suporte e implementação em projetos de novos sistemas de detecção, demodulação e decodificação dos sinais das PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados da Missão Espacial Brasileira Completa – MECB, baseados em processamento digital de sinais de telecomunicações; em especial projetos de sistemas embarcados em novos satélites artificiais. O programa apresenta desenvolvimento modular, é portátil, eficiente e foi avaliado com dados reais na detecção de portadoras das PCDs através de estimação espectral digital.

Palavras-Chave—Análise Espectral, Estimação Espectral, Multijanelamento, Simulação, Programa, Software, Processamento Digital de Sinais, DSP, Sistemas de Telecomunicação, Plataforma de Coleta de Dados, Enlace Espacial e Enlace Satélite.

Abstract—The Software for Simulation and Analysis of Data Collecting Platform Signals from the Data Collecting Platforms was developed for support and implementation in new detection, demodulation and decodification systems for the PCD signals of the Brazilian Space Program. The program was developed in a modular style, is portable, efficient and was evaluated with real data in the detection of the PCD carriers using digital spectral estimation.

Keywords—Spectral Analysis, Spectral Estimation, Simulation, Multitapering, Program, Software, Digital Signal Processing, DSP, Telecommunication Systems, Data Collecting Platforms, Space link and Satellite Link.

I. INTRODUÇÃO

O Programa Simulador e Analisador de Sinais de Plataformas de Coletas de Dados do Sistema de Coleta de Dados do Programa Espacial Brasileiro foi desenvolvido para dar suporte e para implementação em projetos de novos sistemas de detecção, demodulação e decodificação dos sinais das PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados, que integra a Missão Espacial Brasileira Completa – MECB [1] [2],

João Carlos P. Rae, Divisão de Eletrônica Aeroespacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, E-mail: rae@dea.inpe.br ;

Waldecir J. Perrella, Divisão de Eletrônica e Telecomunicações, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, E-mail: waldecir@ita.br ;

Marco A. Chamon, Divisão de Eletrônica Aeroespacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, E-mail: chamon@dss.inpe.br .

baseados em processamento digital de sinais de telecomunicações [3] [4]; em especial projetos de sistemas embarcados em novos satélites artificiais a serem desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – S.J. Campos. Os Sinais das PCDs imersos em ruído gaussiano branco atingem o receptor dos satélites de forma aleatória no tempo, frequência e número de sinais. Esta característica torna os métodos não-paramétricos diretos os métodos de análise espectral digital mais adequados para utilização [5] [6] na aplicação, pois são os métodos computacionalmente mais eficientes quando não é possível inferir conhecimento significativo sobre as características do sinal e fornecem uma estimativa linear direta do seu espectro de potências, característica determinante para a detecção das portadoras das PCDs do sistema, que é objetivo final deste desenvolvimento. O programa, desenvolvido no aplicativo Matlab [7], realiza a simulação simultânea de inúmeros sinais de PCDs e o processamento espectral não paramétrico direto de sinais simulados ou reais com a utilização de técnicas de janelamento temporal, incluindo o multijanelamento com janelas de seqüências esferoidais digitais prolates – dpss, combinadas com técnicas de médias espectrais com sobreposição variável de segmentos de dados [8] [9] [10], visando à detecção das portadoras das PCDs para posterior demodulação digital.

A. O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados consiste de cerca de 500 plataformas (PCDs) fixas e móveis distribuídas pelo Brasil, que transmitem dados ambientais e de geolocalização [11] em UHF na banda de frequências de 401,6[MHZ], para os Satélites de Coleta de Dados e Sensoriamento Remoto de órbita baixa SCD1, SCD2 e CBERS 2, aleatoriamente no tempo, frequência e número de PCDs. Estes satélites modulam em fase os sinais para a banda S (2 GHz) e os retransmitem para 02 Estações Receptoras de Dados Terrenas (ETRs), onde são recebidos, convertidos para a banda de frequências de 65 a 125 [kHz] e tem seus dados recuperados. As informações das PCDs são então enviadas para o Centro de Missão, onde são processadas e entregues aos usuários do sistema. Está em fase final de desenvolvimento Estações de Recepção de Dados Portáteis (ERPs) para recepção das informações diretamente pelos usuário. A Figura 1 apresenta o referido sistema.

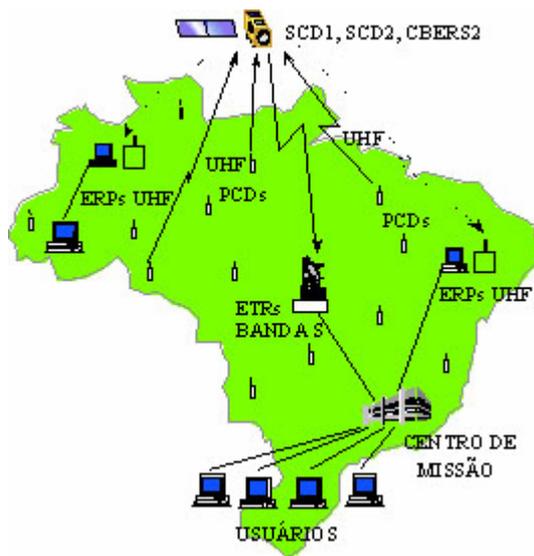


Fig. 1. O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados.

B. Características dos Sinais das PCDs da MECB

As PCDs processam os dados adquiridos e os enviam para os satélites da MECB como mensagens de 360 a 920 [ms] de duração, transmitidas a intervalos regulares de 40 a 220 [s]. Os dados são codificados em bi-phase L (Manchester) em 400 [bps] e modulados em fase 60° em 401,62 [MHz] (faixa MECB) ou 401,65 [MHz] (faixa ARGOS). Devido a desvios dos ajustes de frequência das PCDs e ao efeito Doppler inerente ao enlace espacial, os satélites recebem as mensagens de forma aleatória na faixa de frequência de 401,635 [MHz] ± 30 [kHz]. A Tabela I apresenta o formato da mensagem.

TABELA I
Formato da Mensagem das PCDs

Portadora Pura	Portadora Modulada						
160 ms	A	B	C	D	E	F	G
• Portadora Pura	160 ± 2.5 ms						
• Estrutura da Mensagem							
A – Sincronização de Bit	15 bits “1”						
B – Sincronização de Palavra	8 bits (“00010111”)						
C – Inicialização	1 bit “1”						
D – N°de Blocos de 32 bits	4 bits (N = 1, 2,...8)						
E – Identificação da PCD	20 bits						
F – Dados dos Sensores	32*N						
G – CRC (opcional)	8 bits						

C. O Estimadores Diretos Baseados no Periodograma

O periodograma $\hat{S}_{XX}^{(p)}(f, M)$ estima o espectro de potências $S_{XX}(f)$ do processo aleatório $X(M)$ diretamente, baseado na definição alternativa de densidade espectral de potência para processos ergódicos derivada do teorema da energia de Parseval [3][8][9][10][12], cuja equivalente digital é dada pelas Equação 2, onde $2M+1$ é o número de amostras $x(n)$ disponíveis do processo (sinal), $X_M(f)$ é a sua Transformada de Fourier discreta (DTFT) e $f_s=1/T_s$ é a Frequência de amostragem.

$$S_{XX}(f) = \lim_{M \rightarrow \infty} E[\hat{S}_{XX}^{(p)}(f, M)], \quad \hat{S}_{XX}^{(p)}(f, M) = \frac{1}{(2M+1)T_s} |X_M(f)|^2$$

$$X_M(f) = T_s \sum_{n=-M}^M x(n)e^{-j2\pi fnT_s}, \quad |f| \leq \frac{f_s}{2} \tag{1}$$

Na prática só há uma realização disponível, com número N limitado de amostras do sinal, logo $S_{XX}(f)$ é estimado diretamente pelo periodograma dado pela Equação 2 a seguir, que para N múltiplo de 2 é eficientemente implementada pela Transformada Rápida de Fourier (FFT).

$$\hat{S}_{XX}^p(f) = \frac{T_s}{N} \left| \sum_{n=1}^N x(n)e^{-j2\pi fnT_s} \right|^2, \tag{2}$$

O estimador espectral assim definido apresenta grande variância e vazamento espectral (aliasing), e sua média equivale ao espectro de potências do processo convoluído com o kernel de Féjer $F_N(fT_s)$ conforme a Equação 3.

$$F_N(fT_s) = \frac{T_s \text{sen}^2(N\pi fT_s)}{N \text{sen}^2(\pi fT_s)} \tag{3}$$

A Figura 2 apresenta a representação espectral unilateral ampliada do kernel de Féjer, que é a janela retangular implícita do periodograma, para um tempo de duração do sinal ($T=T_s \times N=10[\text{ms}]=20[\text{dBs}]$, multiplicada por T_s . Esta é uma curva do tipo sinc digital ao quadrado com o lóbulo principal de largura duas vezes o inverso da duração da janela.

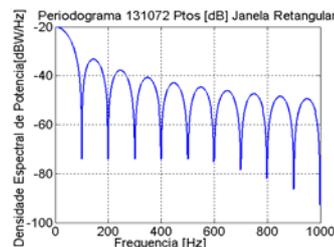


Fig. 2. Representação Espectral Unilateral Ampliada da Janela Temporal Retangular (kernel de Féjer) de duração 10[ms].

Janelamento Temporal

O vazamento espectral do periodograma pode ser atenuado multiplicando-se as amostras $x(n)$ por janelas temporais adequadas $h(n)$, no entanto ao custo de uma pior resolução espectral. O periodograma assim alterado é então denominado estimador direto, conforme a equação 4.

$$\hat{S}_{XX}^d(f) = T_s \left| \sum_{n=1}^N h(n)x(n)e^{-j2\pi fnT_s} \right|^2 \tag{4}$$

Há, no entanto um compromisso entre variância e resolução espectrais. Entre as janelas temporais, a janela Blackman, Figuras 3(a) e 3(b), é a janela que resulta no menor vazamento espectral, e em consequência, na pior resolução (lóbulo principal mais largo) do estimador. As janelas esferoidais digitais prolates (dpss) de ordem $k=0$ são as janelas que concentram a maior potência do sinal no lóbulo principal para uma determinada banda $2W$ de frequências. As Figuras 3(c) e 3(d) apresentam esta janela para $NW=4$ e duração 10[ms].

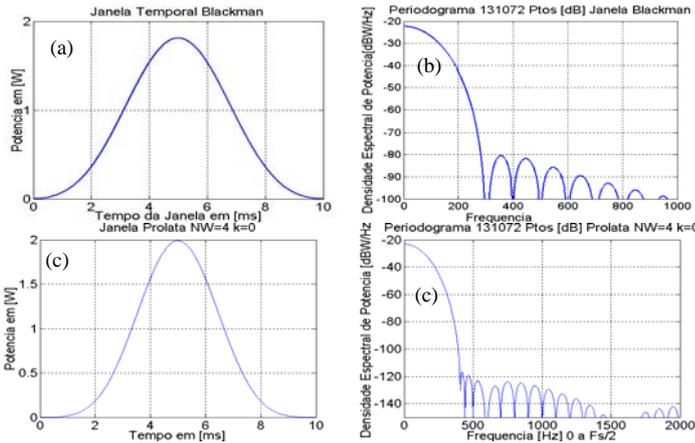


Fig. 3. Formato e Representação Espectral Unilateral Ampliada das Janelas Temporais Blackman Prolates NW=4, k=0, de duração $T_s=10$ [ms].

Multijanelamento por janelas prolates

Realiza-se a média dos estimadores diretos $\hat{S}_{XX}^{d(k)}(f)$ do sinal para cada janela prolata $h(n,k)$, resultando no estimador espectral direto multijanelado, conforme a Equação 5.

$$\hat{S}_{XX}^{(mt)}(f) \equiv \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{S}_{XX}^{d(k)}(f) \tag{5}$$

Como estas janelas são ortogonais, o multijanelamento reduz a variância espectral do estimador pelo fator K , no entanto, ao custo de uma menor resolução espectral. A Figura 4 apresenta as janelas espectrais equivalentes do multijanelamento conforme a ordem K da maior janela utilizada. Para K tendendo a N a janela espectral equivalente tende à janela retangular, portanto no multijanelamento por janelas prolates a informação perdida pelo janelamento dos dados tende a ser recuperada.

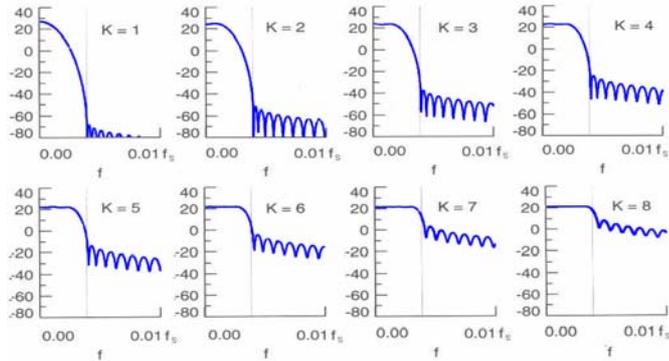


Fig. 4. Janelas espectrais equivalentes do multijanelamento com janelas prolates discretas NW=4, N = 1024, de ordem $k = 0$ a 7. Fonte: [8].

Médias Espectrais

As técnicas de realização de médias em frequência são utilizadas para se reduzir a variância espectral (suavização) do estimador. Duas técnicas são normalmente utilizadas: a realização da média do estimador sobre um conjunto de frequências adjacentes (periodograma de Daniell) ou baseados na realização de médias dos estimadores dos segmentos das amostras do processo (block averaging).

Na primeira técnica, a variância e espectral decai por um fator aproximadamente igual ao número de amostras de frequência do processo independentes utilizadas na média. A

resolução espectral é degradada pelo mesmo fator. Na segunda técnica (periodogramas de Bartlett e Welch) a variância espectral é reduzida pelo número de segmentos utilizados na média, ou por um valor inferior conforme a percentagem de superposição dos segmentos (Periodograma de Welch), pois neste caso os estimadores não são mais independentes.

II. PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE DETECÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE DADOS DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

O programa é subdividido em 02 módulos principais: o módulo simulador e o módulo analisador espectral de PCDs, conforme o fluxograma da Figura 5.

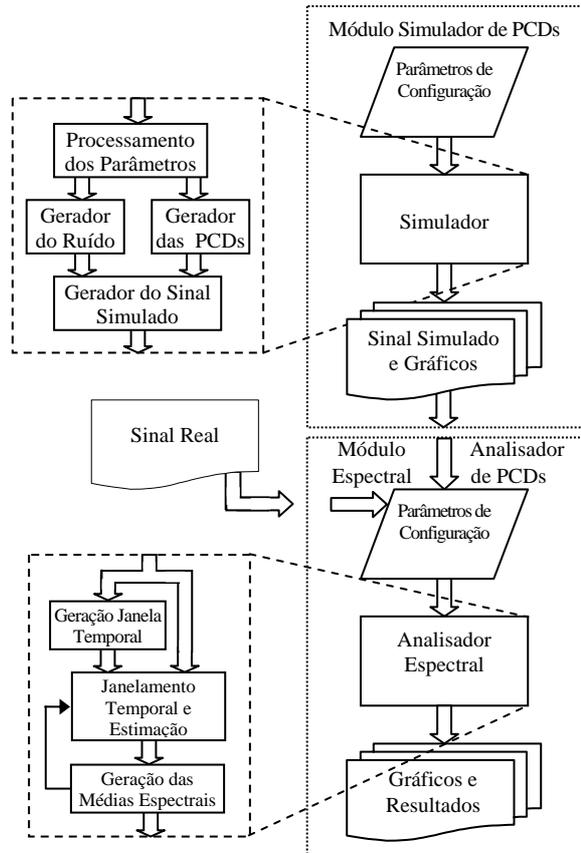


Fig. 5. Programa para Análise Espectral e Simulação dos Sinais de PCDs.

A. *Módulo Simulador de PCDs:*

O sub-bloco Processamento dos Parâmetros recebe as informações dos parâmetros de configuração e processa-as para envio aos sub-blocos seguintes. O sub-bloco Gerador do Ruído gera o ruído gaussiano branco na potência determinada pela PCD de maior S/N_0 , de potência normalizada em 0[dBW], com o número de amostras adequado para a frequência de amostragem e duração da simulação. O sub-bloco Gerador dos Sinais das PCDs, gera os sinais das portadoras puras na frequência de amostragem especificada, com duração variável, os bits dos sinais das PCDs, codifica-os e modula as portadoras com ângulo de modulação e duração especificadas. O sub-bloco Gerador do Sinal Simulado Completo insere os sinais das PCDs, com os atrasos especificados, nas amostras do ruído, gerando o sinal

simulado completo. No módulo simulador de PCDs são gerados gráficos temporais e periodogramas do ruído e dos sinais das PCDs independentes, e do sinal simulado completo, para análise e verificação.

B. Módulo Analisador Espectral de PCDs:

O módulo Analisador Espectral de PCDs realiza a análise espectral do sinal simulado ou real (no formato binário I16). Para tal utiliza os estimadores não-paramétricos diretos baseados no periodograma. Os seguintes parâmetros de configuração devem ser especificados: Sinal Simulado ou Real; N° de Segmentos (N_{SEG}) do Sinal a Janelar e Analisar; Atraso Temporal do 1º Segmento (AT_{1oSEG}); Duração de Cada Segmento (T_{SEG}); Sobreposição Entre Segmentos (S_{SEG}); N° de Segmentos Utilizados na Geração das Médias de Segmentos (N_{MED}); Intervalo de Geração das Médias de Segmentos (I_{MED}); N° de Pontos das FFTs dos Estimadores Diretos; Janelamento Temporal (JAN): Retangular, Hanning, Hamming, Blackman, Triangular, Janelas Prolate com $NW=2$ a 4 , $k=0$ a 4 e todas as suas opções de multijanelamento. O bloco Parâmetros de Configuração do Analisador recebe as amostras do sinal simulado ou real das PCDs. O sub-bloco Geração Janela Temporal gera a janela temporal $h(n)$ especificada, com o número de amostras N adequado à janela temporal $x(n)$ de análise do sinal. No caso de multijanelamento, são geradas as janelas temporais $h(n,k)$ prolates especificadas. O sub-bloco Janelamento Temporal e Estimação Espectral extrai seqüencialmente os segmentos do sinal, multiplica-os pela janela temporal e obtém o estimador espectral direto de potência $\hat{S}_{XX}^d(f)$. No caso de multijanelamento é realizada a média dos estimadores diretos com as janelas prolates, resultando no estimador espectral direto multijanelado. O sub-bloco Geração das Médias seguinte gera as médias dos estimadores diretos dos segmentos, a intervalos regulares, conforme especificado. São gerados gráficos temporais, histogramas e espectros de potência do sinal de entrada, da janela especificada, dos segmentos do sinal.

III. RESULTADOS

Foi avaliado o desempenho do programa para a análise espectral do sinal real das PCDs no enlace espacial e o seu sinal simulado, obtendo-se os resultados a seguir.

A. Simulação e Análise Espectral do Sinal:

Foi gerado o sinal com duração $1,0[s]$ e frequência de amostragem $f_s=300[kHz]$ constituído de 03 PCDs com taxa de bits $400 [bps]$ imersas em ruído gaussiano branco, conforme as especificações: *PCD1*: Mensagem de PCD, Bi-Phase-L $\pm 60[graus]$, S_1/N_0 $80[dBHz]$, frequência da portadora $f_1=110[kHz]$, iniciada em $T_{i1}=0,0[s]$, tempo de portadora pura $T_{p1}=0,16[s]$, 8 sensores, CRC presente, tempo de transmissão total $T_{t1}=960[ms]$; *PCD2*: Bits pseudo-aleatórios (PRN), NRZ $\pm 90[graus]$, S_2/N_0 $75[dBHz]$, $f_2=90[kHz]$, $T_{i2}=0,25[s]$, $T_{p2}=0,16[s]$, 6 sensores, CRC ausente, $T_{t2}=780[ms]$; *PCD3*: Todos os bits "1", Bi-Phase-L $\pm 60[graus]$, S_3/N_0 $70[dBHz]$, $f_3=90[kHz]$, $T_{i3}=0,5[s]$, $T_{p3}=0,16[s]$, 4 sensores, CRC presente, $T_{t3}=640[ms]$. Observação: As potências das PCD são normalizadas pela PCD de maior

potência, resultando em potência $0[dBW]$ para a PCD1, $-5[dBW]$ para a PCD2 e $-10[dBW]$ para a PCD3.

O sinal teve seus primeiros 400 segmentos de $10[ms]$, com sobreposição de $5[ms]$ analisados, sendo realizadas médias dos estimadores espectrais de cada 8 segmentos, sem sobreposição das médias. Foi utilizado o janelamento natural retangular e uma FFT de 16384 pontos.

As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos obtidos para os periodogramas dos segmentos e das médias de cada 8 segmentos, respectivamente. Observa-se claramente nestas Figuras os 160 [ms] iniciais de portadora pura das 3 PCDs, indicadas por (p1), (p2) e (p3) respectivamente, representadas como kernels de Féjer de amplitude máxima igual à metade das potências normalizadas dos sinais das PCDs multiplicadas pela duração $T_a=10[ms]$ do segmento de análise, que resulta em valores máximos de: PCD1: $-23[dBW]$, PCD2: $-28[dBW]$ e PCD3: $-33[dBW]$, com largura do lóbulo principal igual a $2/T_a=200[Hz]$. As Figuras 9(a) a 9(c) apresentam os periodogramas do segmento 1, e da média dos segmentos 1 a 8, correspondente ao intervalo de análise do 0 a $45[ms]$ do sinal simulado. Durante todo este período apenas o sinal da PCD1 está presente, como portadora pura, portanto, o gráficos devem resultar em kernels de Féjer de valor máximo $-23[dB]$, imersos em ruído de média $N_0/2=-83[dBW/Hz]$, conforme se verifica nas Figuras 6 e 7, 9(a) e 9(b), com lóbulo principal de largura $200[Hz]$, Figura 9(c). Observa-se que a variância espectral do ruído diminui com a realização das médias. Esta variância, de valor igual a $(N_0/2)^2$ para um periodograma simples (pois o ruído é Gaussiano branco) deve diminuir por um fator de $1/8$ ao realizar-se as médias. Logo após a portadora pura, a PCD1 transmite 15 bits '1's, de duração $37,5[ms]$ em Bi-Phase-L, conforme indicado por (q1), esta modulação é a mesma de todos os bits da PCD3 (q3), que tem o formato de uma onda quadrada de $400 [Hz]$, modulando na frequência da PCD com portadora residual com potência $6[dB]$ abaixo do nominal, conforme a figura 9(g) que apresenta a média espectral do intervalo 680 a $725 [ms]$ da simulação. Neste intervalo a PCD1 transmite seu bits de informação, que tem formato PRN com a portadora residual, conforme a figura 9(e) e a PCD2 transmite bits PRN em modulação NRZ sem portadora residual, conforme a figura 9(f).

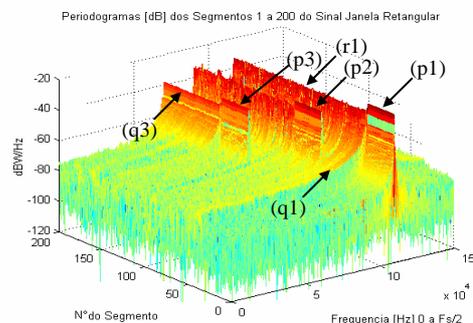


Fig. 6. Espectrograma com Janela Retangular do Sinal Simulado.

Em seguida, o sinal simulado foi analisado com a janela Blackman, figura 3(a) e 3(b), obtendo-se os gráficos das figuras 8 e 9(h) a 9(j), onde se observa que a janela Blackman atenua consideravelmente o vazamento espectral, permitindo mais facilmente a detecção dos sinais das PCDs,

especialmente as suas portadoras puras.

Foi realizada um nova simulação, com Multijanelamento por janela prolates, obtendo-se as figuras 10 a 11, obtendo-se novamente uma melhora significativa da detecção das PCDs, ao custo de uma piora considerável da resolução espectral,

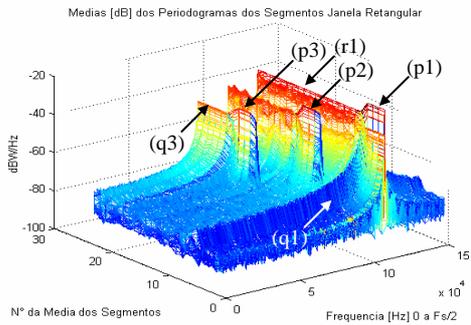


Fig. 7. Espectrograma das Médias Espectrais com Janela Retangular do Sinal Simulado.

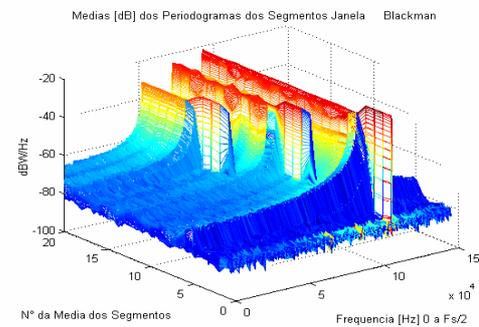


Fig. 8. Espectrograma das Médias Espectrais com Janela Blackman do Sinal Simulado.

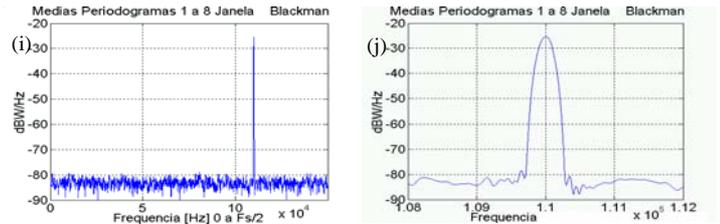
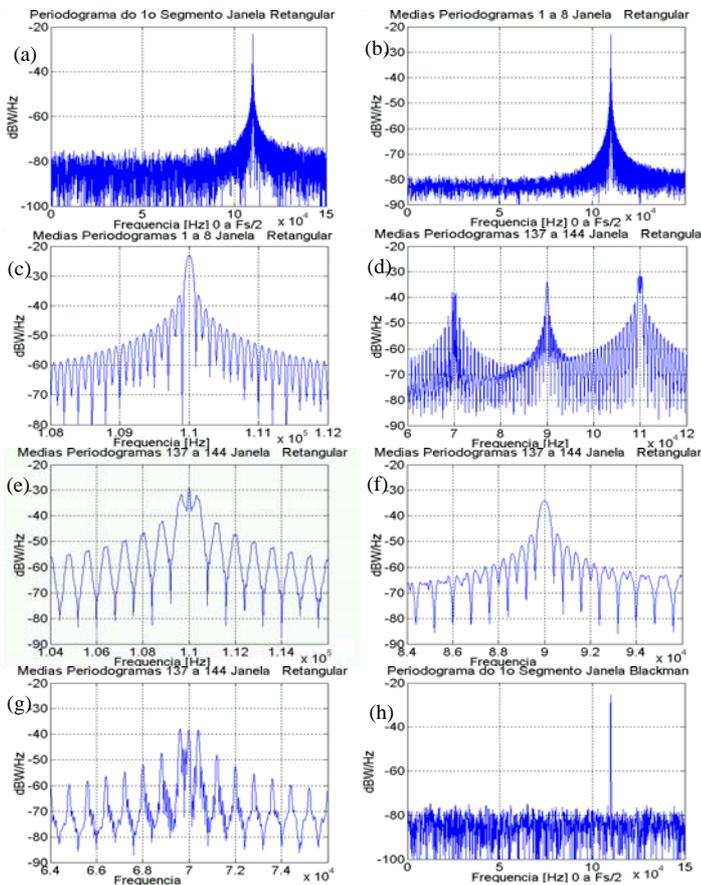


Fig. 9. Periodogramas das Simulações com Janela Retangular e Blackman.

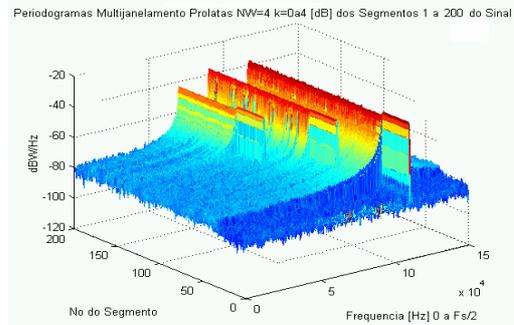


Fig. 10. Espectrograma com Multijanelamento Prolates NW=4, k=0 a 4 do Sinal Simulado.

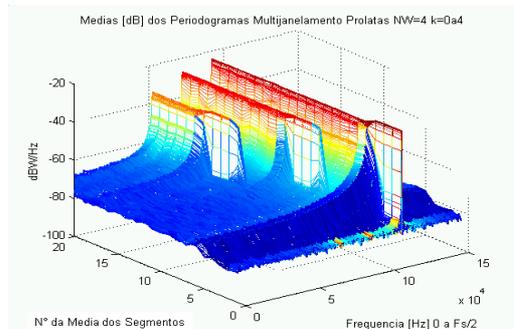


Fig. 11. Espectrograma das Médias Espectrais com Multijanelamento Prolates NW=4, k=0 a 4 do Sinal Simulado.

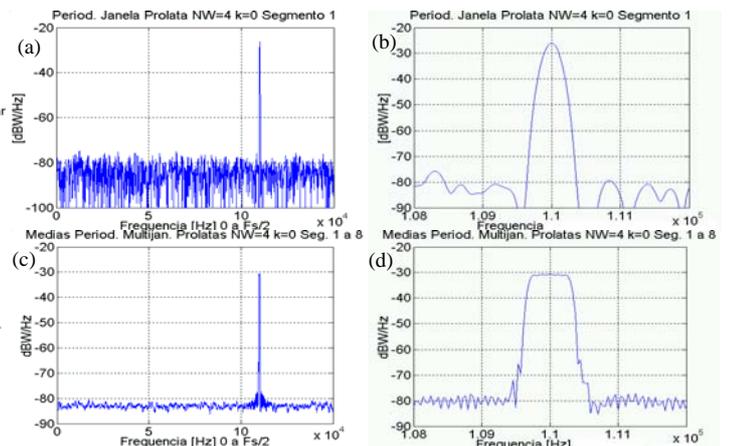


Fig. 12. Periodogramas Multijanelamento Prolates NW=4, k=0 a 4.

conforme esperado e verificado na Figura 12.

B. Análise Espectral do Sinal Real:

Em seguida foi analisado sinal correspondente a 1,0 [s] de recepção da passagem do satélite CBERS2, iniciado às 14:05:28UT[Hz]de 16/12/2003, à frequência de amostragem $f_s=298,50747$ [KHz], recebido na Estação Terrena de Cuiabá,

conforme a seguinte configuração: $N_{SEG} = 400$, $AT_{10SEG} = 0,000$ [s], $T_{SEG} = 0,010$ [s], $S_{SEG} = 0,005$ [s], $N_{MED} = 8$, $I_{MED} = 0$, $FFT = 16384$, $JAN = Blackman$. O sinal, exceto por pequena perda no enlace de descida, decorre do enlace de subida das PCDs para o receptor a bordo do satélite, e foi recebido e convertido para a faixa de interesse de 65 a 125 [kHz], onde foi amostrado. As Figuras 13 a 15 apresentam os resultados obtidos. Observa-se gráficos diversos padrões de sinais de PCDs na faixa de frequências de 65 a 125 [kHz], conforme indicado por $(p_i) =$ portadora pura seguido de $(r_i) =$ informação da PCD_i. As figuras 15(a) a 15(c) apresentam o estimador espectral do período de 320 a 365[ms] do sinal, onde se observa a PCD₁ transmitindo portadora pura em $f_1 \approx 79,2$ [kHz] com $\hat{S}_{XX}^d(f) \approx -43$ [dBW/Hz], imersa em ruído branco de $N_0/2 \approx -77$ [dBW/Hz] na faixa 65 a 125[kHz], que resulta em $S_1/N_0 \approx 54$ [dBHz], em conformidade com a faixa dinâmica real dos sinais das PCDs para os satélites CBERS, conforme cálculos de enlace realizados [13]. Esta portadora é indicada por (p1) nas

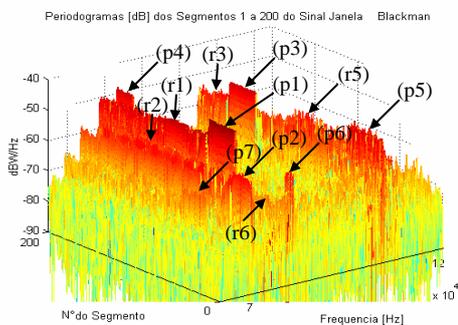


Fig. 13. Espectrograma do Sinal Real; Janela Blackman, na faixa de frequências de 65 a 125 [kHz].

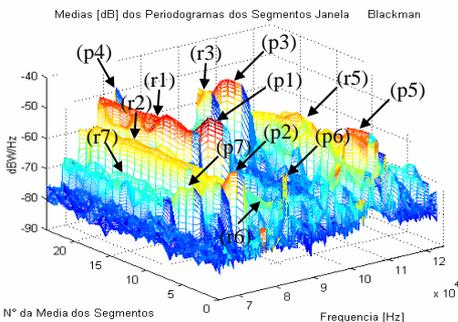


Fig. 14. Espectrograma das Médias Espectrais com Janela Blackman do Sinal Real.

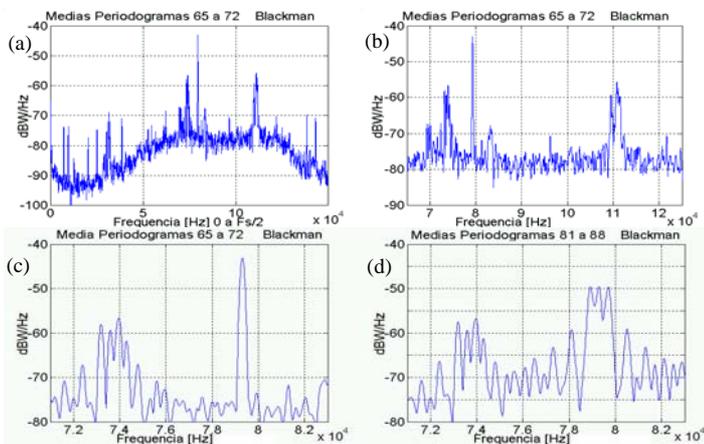


Fig.15. Detalhes das Médias Espectrais do Sinal Real; Janela Blackman.

Figuras 13 e 14. Observa-se também na Figura 14(c) a PCD₂ modulada, em $f_2 \approx 73,5$ [kHz], com espectro no formato típico de uma modulação Bi_phase-L $+60$ [graus] 400[bps] PRN [14]. Na Figura 15(d): 400 a 445[ms], observa-se ambas as PCDs modulando, com portadoras residuais (potência 6[dB] menor): $\hat{S}_{XX}^d(f) \approx -49$ e $\hat{S}_{XX}^d(f) \approx -59$ [dBW/Hz], resultando em $S_1/N_0 \approx 54$ [dBHz], igual ao valor obtido de 320 a 365[ms], e $S_2/N_0 \approx 44$ [dBHz], ambas com lóbulos de largura 800[Hz] e máximo do primeiro lóbulo lateral distante 400[Hz] da portadora residual. Os períodos de modulação destas PCDs são indicados por (r1 e r2) nas Figuras 13 e 14.

IV. CONCLUSÃO

O programa desenvolvido possibilitou a visualização dos sinais das PCDs com eficácia e precisão, bastando para detectá-las determinar-se as lógicas e limiares de decisão, aplicando-se o modelamento estatístico dos sinais. Este trabalho, em conjunto com os algoritmos de detecção e demodulação, será posteriormente implementado em Processadores Digitais de Sinais (DSPs) certificados para aplicações espaciais embarcados em satélites artificiais da MECB.

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos à equipe da Estação de Recepção de Satélites do INPE-Cuiabá, em especial ao Sr. Glauber Paz Miranda, pelo apoio na aquisição dos dados reais do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais “Data Collecting System Specification”, São José dos Campos, 1986 (MECB/SS, A-ETC-0001).
- [2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais “Análise do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados da MECB/SS”, São José dos Campos, 1986 (INPE-3820-NTE/253).
- [3] Smith, S.W. “The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing”, San Diego, California Technical Publishing, 1999. 650p
- [4] Jeruchim, M. C.; Balaban, P.; Shanmugan, K. S. “Simulation of Communication Systems”, New York: Plenum Press, 1994. 730p.
- [5] Kay, S. M. “Fundamentals of Statistic Signal Processing – Estimation Theory”, New Jersey: Prentice Hall, 1993. 595p
- [6] Kay, S. M. “Fundamentals of Statistic Signal Processing – Detection Theory”, New Jersey: Prentice Hall, 1993. 560p
- [7] Bassem R. Mahafza. “Radar Systems Analysis and Design Using Matlab”, New York: Chapman & Hall/CRC, 2000. 529p.
- [8] Percival, D. B.; Walden A.T. “Spectral Analysis for Physical Applications – Multitaper And Conventional Univariate Techniques”, London: Cambridge University Press, 1993. 583p
- [9] Kay, S. M. “Modern Spectral Estimation – Theory & Application”, New Jersey: Prentice Hall, 1987. 543p
- [10] Marple, S. L., Jr. “Digital Spectral Analysis with Applications”, New Jersey, Prentice Hall, 1987. 492p.
- [11] Sousa, C. T. “Geolocalização de Transmissores com Satélites Usando Desvio Doppler em Tempo Quase Real”. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais). Divisão de Mecânica e Controle. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- [12] Tsui, J. “Digital Techniques for Wideband Receivers”, London: Artech House, 2001. 588p.
- [13] Maral, G.; Bousquet, M. , “Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology, 4th Edition”, New York, Wiley & Sons, 2002. 784p.
- [14] Lindsey, C. W.; Simon, M. K. “Telecommunication Systems Engineering”, New Jersey, Prentice Hall, 1973. 574p.